

# TEST DI POSIZIONAMENTO CON RICEVITORI IBRIDI GPS-GLONASS

Gino Dardanelli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale,  
Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo,  
tel. 09123896228 – fax 091588853  
e-mail: [gino.dardanelli@unipa.it](mailto:gino.dardanelli@unipa.it)

## RIASSUNTO

In questo lavoro viene svolta un'analisi su test di posizionamento effettuati con ricevitori ibridi, per valutare l'apporto che la costellazione satellitare Glonass può dare ai rilievi NRTK (*Network Real Time Kinematic*) in condizioni di geometria satellitare GPS critica. I test sono stati condotti variando intenzionalmente le configurazioni geometriche dei satelliti appartenenti alle costellazioni GPS e Glonass, passando da rilievi solo GPS (9+0, 8+0, 6+0) a GPS-Glonass (4+5, 3+5, 2+5). I risultati in termini di precisione e accuratezza confermano la buona risposta dei ricevitori nel calcolo della posizione attraverso le correzioni NRTK con doppia costellazione sebbene si siano evidenziate differenze nelle situazioni estreme.

## 1. INTRODUZIONE E STATO DELL'ARTE

Parallelamente al sistema NAVSTAR-GPS americano, l'URSS ha lavorato, a partire dagli anni '80, allo sviluppo di un sistema di radionavigazione satellitare militare, denominato Glonass (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema, Global Navigation Satellite System*).

Sviluppato con l'obiettivo iniziale di una copertura globale nel 1991, la costellazione fu completata soltanto nel 1995 con 26 satelliti operativi. Dopo il completamento e lo spiegamento del sistema, però, a causa della crisi sociale e politica dell'URSS, il sistema non fu più in grado di sostenersi economicamente e sembrava destinato ad un lento declino.

Dal 2001, comunque, un nuovo programma federale russo denominato *Global Navigation System* è stato intrapreso dal Governo con la partnership finanziaria ed economica dell'India che è particolarmente interessata all'uso civile del sistema Glonass.

Per comprendere come il Glonass sia prepotentemente tornato alla ribalta, basta osservare che nel 2007 il presidente russo Vladimir Putin ha firmato un decreto che permette libero accesso ai civili ai segnali di navigazione del sistema e l'uso gratuito anche agli utilizzatori stranieri (Eissfeller et al., 2007). Attualmente il sistema conta 23 satelliti operativi e 27 totali; il Governo federale Russo conta di raggiungere la piena capacità operativa entro la fine di quest'anno.

Come per il sistema GPS, il Glonass ha un grande potenziale di sviluppo, sia per la navigazione che per le applicazioni geodetiche (Zarraoa et al., 1998). Già da più di un decennio l'interesse della comunità scientifica mondiale verso questo sistema satellitare è stato dimostrato durante appassionanti avvenimenti di notevole livello accademico come l'International GLONASS Experiment-IGEX98 (Slater et al., 1998; Willis et al., 1999.) ed il GLONASS Service - Pilot Project (Reigber, 2000).

In campo scientifico gli approfondimenti verso l'integrazione tra i due sistemi (GPS e Glonass) è dovuto anche al fatto che l'utilizzo combinato può fornire una migliore geometria satellitare in termini di DOP (*Dilution of Precision*) e quindi informazioni ridondanti per calcolare la posizione in condizioni critiche o limite.

Negli ultimi anni, numerosi studi scientifici sono stati effettuati nell'ambito della integrazione tra sistemi satellitari GPS e Glonass, sia da università e istituti di ricerca, che da fondazioni pubbliche e

aziende private. La trattazione che segue non ha la pretesa di essere esaustiva e riguarda in particolare le prove sviluppate in RTK con ricevitori ibridi, negli ultimi 10 anni.

Uno dei primi lavori noti in letteratura è quello della *Javad Positioning Systems*, una delle ditte leader del settore topografico mondiale, che effettuò alcuni test con ricevitori GPS e Glonass, con differenti tempi di acquisizione, giungendo alla conclusione che l'uso di doppia costellazione in RTK permette di ottenere maggiore affidabilità nella stima delle baseline in condizioni ambientali differenti (Zhodzishsky et al., 1999).

In Norvegia lo studio scientifico universitario messo a punto dal team di ricercatori del *Department of Forest Sciences and Agricultural* con l'utilizzo congiunto delle due costellazioni in condizioni estreme, come quelle di rilievi di punti al disotto degli alberi nelle foreste scandinave, ha evidenziato un miglioramento nella precisione posizionale per via della migliore distribuzione geometrica (Naesset et al., 2000).

In Australia molte ricerche sono state rivolte effettuate utilizzando ricevitori ibridi GPS-Glonass a doppia frequenza e singola frequenza su distanze delle baseline fino a 10 chilometri. I risultati indicano che, dopo l'applicazione della procedura basata sulle analisi di correlazione, le percentuali di successo della risoluzione della ambiguità di fase hanno un miglioramento significativo fino al 98,3% e la precisione di posizionamento cinematico è molto alta, proprio per la presenza di un gran numero di satelliti in esubero (Rizos et al., 2001).

Numerosi studi e ricerche sono state condotti anche relativamente a dati provenienti alle reti di stazioni permanenti GPS e Glonass; nelle ricerche condotte in Belgio, le elaborazioni basate su *Bernese* hanno permesso di valutare l'influenza delle osservazioni Glonass al trattamento dei dati delle stazioni dell'EPN (*European Permanent Network*) (Bruyninx, 2007), mentre in quelle sviluppate in Canada è stata posta attenzione al modello di posizionamento PPP (*Precise Point Positioning*) utilizzando osservazioni GPS e Glonass, utilizzando i dati delle stazioni IGS (*International GNSS Service*). I risultati hanno indicato un miglioramento nel posizionamento integrando osservazioni Glonass (Cai e Gao, 2007).

Sempre presso l'Università di Calgary, nel *Departments of Geomatics*, sono stati condotti interessanti studi sull'integrazione tra GPS e Glonass: in particolare è stato messo a punto un sensore ultra leggero e preciso in grado di essere di supporto alle gare di sci del team canadese alle olimpiadi invernali, detto STEALTH™ (*Sensor for the Training of Elite Athletes*); l'uso dei due sistemi satellitari si rivela particolarmente utile in casi come quelli cinematici presentati, con un maggiore incremento di ambiguità intere fissate dovute proprio al Glonass (Lachapelle et al., 2009). Un altro studio è stato condotto presso lo stesso dipartimento, relativamente alla affidabilità delle osservazioni GPS e Glonass combinate. In particolare è stato sviluppato un software di elaborazione *PLANSOFT*™, per potere investigare le osservazioni Glonass integrata sia con fissaggi parziali (solo GPS) che con fissaggi totale (GPS e Glonass). I risultati di questo imponente lavoro mostrano che l'integrazione con fissaggi totali migliora notevolmente la precisione posizionale. Uno degli altri grandi vantaggi di Glonass è l'aumentata disponibilità di soluzioni in condizioni critiche o sotto determinati scenari dove la visibilità satellitare è ridotta. Le prove con angolo di cut off di 30° hanno dimostrato che una soluzione GPS/Glonass ottiene quasi il 100% di disponibilità, a confronto con quella solo GPS dell'80%. Maggiori approfondimenti si possono trovare in (Ong R., 2010).

In Italia molte ricerche sono state effettuate per studiare le correlazioni tra i differenti sistemi GPS e Glonass. Nel lavoro pubblicato dai ricercatori delle *Università di Ferrara e Napoli*, riguardante rilievi RTK con sistemi combinati GPS e Glonass, oltre alla possibilità di rilevamento in condizioni di esercizio difficili si sono ricavati ottimi risultati in termine di aumento della produttività (dovuti principalmente alla riduzione dei tempi di inizializzazione e reinizializzazione) e al raggiungimento di precisioni paragonabili a quelle ottenuti con altre tecniche di rilievo (Crocetto et al., 2000).

Altre sperimentazioni sono state effettuate nel nostro paese riguardo elaborazioni di dati combinati GPS e Glonass: nello studio condotto su punti appartenenti a due casi di studio (rete ridotta in scala urbana e rete di piccola dimensione in scala continentale) i risultati hanno mostrato che i semiasse delle ellissi d'errore e lo RMS sono quasi la metà rispetto a quelli ottenuti con misurazioni

tradizionali GPS L1/L2 (Cefalo e Gatti, 2000), mentre nelle elaborazioni condotte su vertici appartenenti alla rete IGM 95 non sono emersi grandi cambiamenti nel livello di precisione ottenute dall'integrazione delle misure dai due sistemi rispetto al solo GPS (Barbarella et al., 2007).

Recentemente ulteriori studi sono stati sviluppati dai colleghi dell'Università di Roma "La Sapienza" attraverso un approccio innovativo, definito *Multiconstellation* (per il post-processamento dei dati satellitari), in cui si possano considerare le osservazioni GPS e Glonass come composte da più costellazioni indipendenti. Infatti attraverso la progettazione del software di pretrattamento dei dati *MultiCon*, si sono ottenuti dall'unico file originale RINEX (contenente le osservazioni di  $n$  satelliti), due file tra loro uguali per intervallo temporale (comprendenti questa volta le osservazioni di  $n/2$  satelliti); i risultati hanno mostrato precisioni dello stesso ordine di grandezza rispetto alle elaborazioni tradizionali (Baiocchi et al., 2006, 2007, 2010).

## 2. PROGRAMMAZIONE ED ESECUZIONE DEI RILIEVI

Le prove oggetto di questo lavoro sono state condotte nei giorni 14-15 Dicembre 2010 presso un'area test ubicata sul tetto di copertura del DICA (*Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale*) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo, dove sono stati materializzati tre vertici con chiodi in metallo ad una distanza di 3 metri l'uno dall'altro; questa scelta è stata effettuata per operare simultaneamente con i tre ricevitori e quindi avere un'identica configurazione satellitare e analoghe condizioni di accesso alla rete Internet per la ricezione delle correzioni NRTK e per tenere conto delle condizioni operative urbane (non sempre favorevoli) che si possano presentare nei rilievi satellitari (figura 1).



Figura 1: Area test e strumentazione utilizzata

Preliminarmente è stata eseguita una sessione di rilievi in modalità statica, nei vertici scelti per la prova, per ottenere le coordinate di riferimento da utilizzare nel confronto con il rilievo cinematico continuo. Come già sperimentato negli ultimi anni, le coordinate ottenute con il rilievo statico sono state assunte prive di errore e utilizzate come termine di paragone per le misure in tempo reale (Dardanelli et al., 2009, 2010). L'elaborazione delle sessioni è stata condotta con il software *Topcon Tools*, in dotazione al DICA e la registrazione delle osservazioni è stata raggiunta sia ad ambiguità di fase fissata (*fixed*) che non fissata (*float*, o *standalone*), numerando progressivamente i punti acquisiti. Alla fine dell'acquisizione sono stati considerati soltanto i valori *fixed* indicati dagli strumenti. I test sono stati condotti variando intenzionalmente le configurazioni geometriche dei satelliti appartenenti alle costellazioni GPS e Glonass, passando da rilievi solo GPS (9+0, 8+0, 6+0) a GPS-Glonass (4+5, 3+5, 2+5), per potere valutare anche gli apporti che il sistema russo può dare alla determinazione del fissaggio e alla precisione conseguibile. Complessivamente sono state eseguite 72 sessioni di misura NRTK con durata di cinque minuti (prove brevi), cioè 6 sessioni

indipendenti per ciascuno dei 3 punti, ripetute 4 volte in differenti giorni, più alcune prove di venti minuti (prove lunghe). Per le prove brevi i ricevitori sono stati reinizializzati ad ogni variazione di configurazione, mentre per quelle lunghe si è proceduto con una registrazione continua delle posizioni, in modo da riprodurre la situazione dell'operatore che si muove in un ambiente con ostacoli (edifici, alberi, scarpate, cavalcavia) sottoposto ad improvvise variazioni del numero di satelliti visibili.

In questo lavoro si riportano i risultati delle sole prove lunghe.

Relativamente ai test si è utilizzata la correzione differenziale fornita in *Nearest* dalla stazione permanente GNSS di Palermo (prossima alla area del test, Dardanelli et al., 2008), che appartiene anche alla RDN (*Rete Dinamica Nazionale*) gestita dall'IGM (*Istituto Geografico Militare*), impiegando il software GNSMART della *Geo++*, anch'esso in dotazione al DICA, che offre il vantaggio di gestire i ricevitori ibridi indipendentemente dalla azienda costruttrice. Il formato dei dati utilizzato è l'RTCM 3.0. I tre ricevitori GNSS utilizzati rappresentano lo stato dell'arte delle principali case costruttrici: *Leica Viva GS-15* (n. canali 120, firmware ver. 1.20, controller CS 15, software a bordo Smart Worx 1.20, *Topcon GR-3* (n. canali 72, firmware ver. 3.3p4, controller FC 250, software a bordo Top Surv 7.2.3) e *Trimble R8* (n. canali 120, firmware ver. 3.24, controller TSC2, software a bordo Trimble Survey Controller 12.10).

### 3. ANALISI DEI RISULTATI

Prima di passare all'analisi dei rilievi svolti, è opportuno sottolineare che i risultati ottenuti non hanno la pretesa di fornire un giudizio critico sui ricevitori utilizzati, ma si è cercato di definire il comportamento dei ricevitori al variare della costellazione satellitare, ponendoli tutti nelle stesse condizioni e utilizzando un messaggio di correzione standard.

In riferimento a tutte le prove (brevi e lunghe) sono stati dapprima calcolati i risultati delle componenti nord, est e quota determinati rispetto alla posizione ricavata con il rilievo statico elaborato con *Topcon Tools*; i grafici esprimono gli andamenti nel tempo dei residui dei tre ricevitori, per la parte planimetrica (nord+est) ed altimetrica (quota). La scelta di utilizzare le coordinate dei vertici calcolate con il rilievo statico ha consentito di effettuare le verifiche nello stesso sistema di riferimento materializzato dalla stazione permanente utilizzata che, come detto, è quella RDN di Palermo. Le analisi sono state differenziate in funzione dei rilievi con solo satelliti GPS e GPS integrati con Glonass, per semplicità di lettura.

Inoltre occorre sottolineare che nelle prove lunghe le configurazioni di riferimento sono state maggiormente differenziate rispetto a quelle brevi: si è passati da rilievi GPS con configurazioni di 9+0, 8+0, 6+0, 5+0, 4+0 a prove GPS-Glonass come quelle condotte per le prove da cinque minuti (4+5, 3+5, 2+5); inoltre le prove lunghe sono state effettuate senza reinizializzazione dei ricevitori.

Dall'esame dei dati contenuti nei diagrammi a dispersione di figura 2 si è osservato, preliminarmente che fino a quando sono stati vengono utilizzati 5 satelliti per la soluzione *Nearest* (cioè un rilievo in condizioni geometriche accettabili), i dati provenienti dai ricevitori erano in totale accordo tra loro, con andamento pressoché rettilineo e residui contenuti all'interno di un intervallo di 1-2 cm.

Passando invece alle condizioni critiche, per esempio al limite teorico di 4 satelliti, i residui provenienti dalle elaborazioni dei ricevitori Topcon e Trimble hanno mantenuto gli stessi andamenti, coerenti con i valori a dispersione delle precedenti configurazioni, mentre i residui provenienti dalle analisi del ricevitore Leica hanno mostrato una discontinuità evidente, passando bruscamente fino a 7-8 cm di differenza. Introducendo all'interno delle prove i satelliti della costellazione Glonass si è osservato che, anche al diminuire dei satelliti GPS al disotto del valore limite teorico, i residui provenienti dai ricevitori Topcon e Trimble hanno mostrato differenze centimetriche e cioè sono dello stesso ordine di grandezza delle prove con i satelliti GPS, con una maggiore disponibilità di soluzioni derivanti dal ricevitore Topcon (nelle configurazioni 3+5 e 2+5),

mentre i residui provenienti dalle elaborazioni del ricevitore Leica erano presenti soltanto in metà della prova nella configurazione 4+5.

Risultati analoghi a quelli derivanti dai diagrammi dei residui orizzontali si sono ottenuti per quelli verticali ed, in particolare fino all'utilizzo di 5 satelliti, i residui provenienti dai tre ricevitori erano coerenti tra loro con andamento pressoché rettilineo e contenuti all'interno di un intervallo di  $\pm 2-5$  cm; in configurazioni geometriche limite (4+0), i dati provenienti dai ricevitori Topcon e Trimble hanno continuato a mantenere lo stesso andamento lineare, con migliori risultati numerici ottenuti dalle osservazioni del ricevitore Trimble e con la maggiore presenza di soluzioni dal ricevitore Topcon (figura 2).

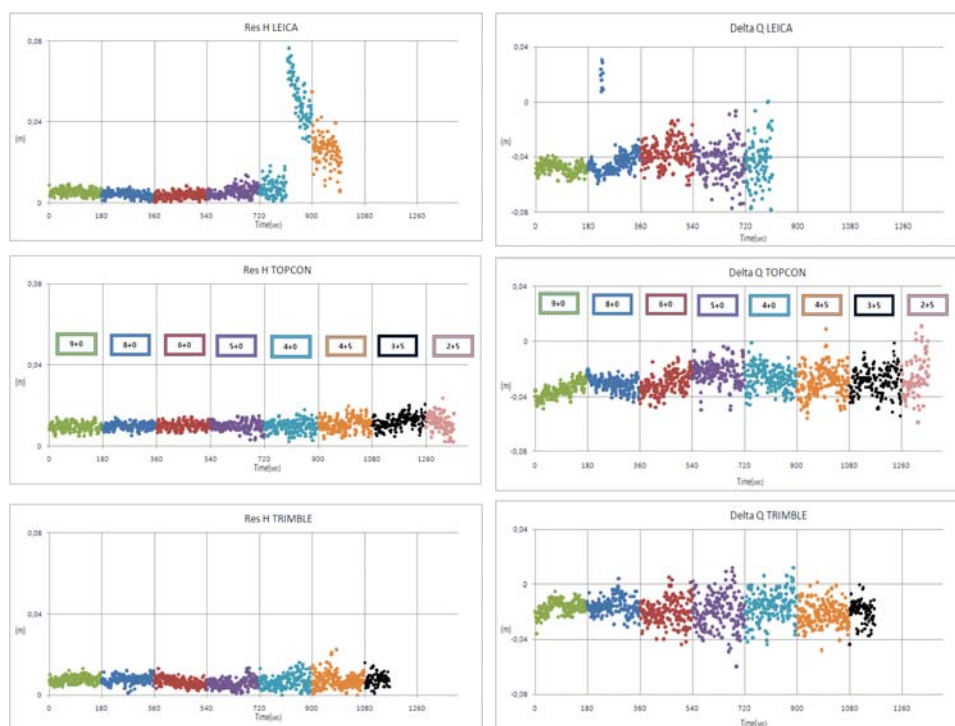


Figura 2: Diagrammi planimetrici ed altimetrici delle prove lunghe

Con l'inserimento nel rilievo dei satelliti Glonass, i residui provenienti dai ricevitori Topcon e Trimble hanno mostrato ancora differenze centimetriche, mentre non erano presenti soluzioni (all'interno dell'intervallo del diagramma) derivanti dalle elaborazioni del ricevitore Leica per le configurazioni 4+5, 3+5, 2+5.

#### 4. CONCLUSIONI

Come già affermato, l'interesse dei centri di ricerca e delle Università verso il sistema Glonass è dovuto al fatto che l'utilizzo combinato di entrambi i sistemi satellitari può fornire una migliore geometria satellitare in condizioni critiche come quelle rappresentate dagli ambiti urbani.

I primi risultati ottenuti dai test condotti in questo lavoro, variando volontariamente le configurazioni geometriche dei satelliti appartenenti alle costellazioni GPS e Glonass, hanno messo in luce il buon comportamento dei ricevitori, che permettono di ottenere dati compatibili con rilievi NRTK anche in condizioni critiche e al limite di soli tre o due satelliti GPS, se si opera anche in presenza dei satelliti Glonass.

Ad ogni modo è prematuro potere esprimere delle considerazioni definitive sui risultati derivanti da questa sperimentazione, che non ha la pretesa di essere esaustiva riguardo l'apporto della costellazione Glonass al posizionamento in condizioni limite con ricevitori ibridi.

Sulla base delle prove lunghe si sono ottenuti buoni risultati quelli ricavati sia con i ricevitori Topcon che Trimble, per disponibilità di correzione e valori dei residui orizzontali e verticali, in configurazioni geometriche restrittive, mentre i risultati provenienti dal ricevitore Leica non hanno mostrato miglioramenti significativi con l'introduzione dei satelliti Glonass. Successivi approfondimenti su queste tematiche sono previsti entro la fine dell'anno.

## Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare per *Leica Geosystem Italia*: Sergio Condello, Gianfranco Lupo e Davide Pellegrino, per *Geotop s.r.l.*: Paolo Centanni e Vito Terzo, per *CGT Trimble*: Leonardo Alestra e Michele Gagliano, per avere tutti cortesemente messo a disposizione gratuitamente le attrezzature software ed hardware per i test.

Un ringraziamento a Francesco Bordonaro, che su tali tematiche discuterà a breve la sua tesi di Laurea triennale in Ingegneria Civile.

## BIBLIOGRAFIA

### Bibliografia da riviste:

- Bruyninx C. (2007). Comparing GPS-only with GPS+GLONASS positioning in a Regional Permanent GNSS Network. *GPS Solution*, n. 11, ppg:97-106
- Cai C., Gao Y. (2007). Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS, Observations, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.6, No.1, ppg. 13-22
- Cefalo R., Gatti M. (2000). Dual Frequency GPS+GLONASS Measurements in the Static Relative Positioning, in *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 4
- Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008). La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2008, ppg. 107-124
- Naesset E., Bjerke T., Bvstedal O., Ryan L. H. (2000). Contributions of differential GPS and GLONASS Observations to point accuracy under forest Canopies, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, n. 4 April, ppg. 403-407
- Wang J., Rizos C., Stuart M. P., Leick A. (2001). GPS and GLONASS Integration: Modelling and Ambiguity Resolution Issues. *GPS Solutions*, Vol. 5, No. 1, ppg. 55-64
- Willis P., Beutler G., Gurtner W., Hein G.W., Neilan R.E., Noll C. & Slater J. (1999). IGEX: International GLONASS experiment: scientific objectives and preparation. *Adv. Space Res.*, 23(4), ppg. 659-663
- Zarraoa N., Mai W., Sardón E. & Jungstand, A. (1998). Preliminary evaluation of the Russian GLONASS system as a potential geodetic tool, in *Journal of Geodesy*, n. 72, ppg. 356-363

### Bibliografia da convegni:

- Eissfeller B., Ameres G., Kropp V., Sanroma D. (2007). Performance of GPS, GLONASS and Galileo, *Dieter Fritsch*, Wichmann
- Baiocchi V., Giannone F., Milone M.V., Mormile M., Pietrantonio G. (2010). Applicabilità dell'approccio Multiconstellation in condizioni operative di rilievo GNSS, in *Atti 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA - Brescia 9-12 novembre*
- Baiocchi V., Giannone F., Pietrantonio G. (2007). Implementazione di un software per l'approccio Multiconstellation al trattamento dei dati GNSS, in *Atti 11<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Torino 6 – 9 novembre 2007
- Baiocchi V., Giannone F., Pietrantonio G. (2006). Studio delle possibilità di utilizzo della costellazione Glonass nel suo stato attuale e futuro, in *Atti 10<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Bolzano, 14-17 Novembre
- Barbarella M., Gandolfi S., Mancini F., Ronci E., Vittuari L. (2004). Integrazione di misure GPS-GLONASS, analisi di una rete d'appoggio per sperimentazioni VRS, in *Atti della 8<sup>a</sup> Conferenza ASITA*, Roma, ppg. 13-17
- Crocetto N., Marchesini M., Negroni F., Russo P. (2000). RTK Survey Using Combined GPS+GLONASS L1/L2 Carrier Phases, in *Proceedings of the ISPRS WG VI/3 and ISPRS WG IV/3 Meeting*. Lubiana (Slovenia), February 2-5, ppg. 38-43
- Dardanelli G., Franco V., Chiappone A. (2010). Analisi di rilievi NRTK condotti con differenti reti di stazioni permanenti in Sicilia, in *Atti 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA - Brescia 9-12 novembre*
- Dardanelli G., Franco V. (2009). Determinazione della precisione e della ripetibilità in rilievi NRTK, in *Atti 13<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Bari
- Lachapelle G., Morrison A., Ong R. (2009). ULTRA-PRECISE POSITIONING FOR SPORT APPLICATIONS, in *13th IAIN World Congress*, Stockholm, 27-30 October
- Ong R. (2010). Reliability of Combined GPS/GLONASS Ambiguity Resolution, a thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, *Department of Geomatics Engineering*, Calgary, Canada, July
- Reigber C. (2000). GLONASS Pilot Project, *IGS Electronic Mail*, 25 Feb 2000, Message Number 2722.
- Slater J., Willis P., Gurtner W., Beutler G., Noll C., Hein, G.W. & Neilan, R.E. (1998). The International GLONASS Experiment (IGEX-98), in *11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation GPS ION'98*, Nashville, Tennessee, 15-18, ppg. 1637-1643
- Zhodzhishsky M., Vorobiev M., Khvalkov A., Rapoport L., Ashjaee J. (1999). Dual-Frequency GPS/GLONASS RTK: Experimental Results in Proceedings of the *12th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999)* September 14-17, ppg. 805-810